

新しい閾値測定アルゴリズム Swedish interactive thresholding algorithm の正常人における評価

辻 明, 稲積 幸介, 山本 哲也, 北澤 克明

岐阜大学医学部眼科学教室

要 約

Swedish Interactive Thresholding Algorithm (SITA) は, up and down 法と同等の精度の視野検査データをより短時間で得ることを目標とした新しい閾値測定アルゴリズムである。正常者 47 例 47 眼を対象として, SITA の測定結果と up and down 法の測定結果を比較検討した。全対象眼の測定点において, 従来の閾値測定プログラムと SITA accurate, SITA fast のそれぞれの閾値は有意な相関関係を認めた(各々 $r=0.693$, $p<0.0001$; $r=0.689$, $p<0.0001$)。また, up and down 法の mean deviation (MD) 値と, up and down 法と SITA accurate, SITA fast それぞれの閾値の差の間には有意

な負の相関関係が認められた(各々 $r=-0.442$, $p<0.006$; $r=-0.509$, $p<0.00092$)。SITA accurate, SITA fast の測定時間は, それぞれ従来のプログラムの 48%, 27% に短縮していた。SITA は短時間で検査を終了し得るアルゴリズムであるが, 閾値の誤差などの点から, 今後, 緑内障に応用するにはさらなる検討が必要であると考えられた。(日眼会誌 102: 359—364, 1998)

キーワード: 視野, 閾値測定アルゴリズム, 正常者, 緑内障

Evaluation of the Swedish Interactive Thresholding Algorithm, a New Thresholding Algorithm, of the Humphrey Field Analyzer in Normal Subjects

Akira Tsuji, Kosuke Inazumi, Tetsuya Yamamoto and Yoshiaki Kitazawa

Department of Ophthalmology, Gifu University School of Medicine

Abstract

The Swedish Interactive Thresholding Algorithm (SITA) is a new thresholding algorithm that aims to obtain the same quality of visual fields in a shorter examination time than with the conventional up - and - down method. We investigated the correlation between thresholds measured with the SITA algorithm and those with the conventional up - and - down method in 47 eyes of 47 normal subjects. In each test point, thresholds with the SITA accurate and with the SITA fast showed significant correlation with those of the conventional method ($r=0.693$, $p<0.0001$ and $r=0.689$, $p<0.0001$, respectively). The mean deviation (MD) in the conventional method and the difference between MD values of the

conventional method and SITA accurate and SITA fast were significantly correlated ($r=-0.442$, $p<0.006$ and $r=-0.509$, $p<0.00092$, respectively). The examination times of the SITA accurate and SITA fast were 48% and 27% of the conventional method. Although the new thresholding algorithm enables us to perform perimetric examination with relatively high accuracy, further investigations should be conducted before we apply it to glaucoma cases. (J Jpn Ophthalmol Soc 102: 359—364, 1998)

Key words: Visual field, Swedish Interactive Thresholding Algorithm, Normal subjects, Glaucoma

I 緒 言

緑内障において, 視野検査は従来から眼圧・視神経乳頭検査とともに必須のものであったが, かつては動的視

野検査が主であり, 検査員の測定能力を含めた多くの不確定要素や孤立暗点の検出の困難さなど, いくつかの問題点が知られていた。1970 年代に静的自動視野計が開発されて以降¹⁾, 動的視野計とは比較にならない精度・再現

別刷請求先: 500-8705 岐阜県岐阜市司町 40 岐阜大学医学部眼科学教室 辻 明
(平成 9 年 9 月 18 日受付, 平成 9 年 12 月 22 日改訂受理)

Reprint requests to: Akira Tsuji, M.D. Department of Ophthalmology, Gifu University School of Medicine, 40 Tsukasa - Machi, Gifu-shi, Gifu-ken 500-8076, Japan

(Received September 18, 1997 and accepted in revised form December 22, 1997)

性から、自動視野計の視野測定のスランダードとしての地位が確立し、静的視野検査の重要性は高まっている。しかし、現在行われている自動視野計による閾値検査は、片眼当たり約 15 分の無機能的な検査を患者に強いている。これは単に患者の苦痛の問題にとどまらず、測定される閾値についても、検査開始直後の検査部位と、検査終了に近い時間の検査部位では、その測定閾値や信頼性にかなりの差が認められることが Searle ら²⁾の実験結果から推測される。

従来から、主に患者の負担を取り除くことを目的とした閾値測定の改良はいくつか行われている。Humphrey field analyzer (HFA) の FASTPAC[®] (ハンフリー社) のように^{3,4)}、4~2 dB 間隔の up and down 法を 3 dB の一方向のみの検査に変え、精度を犠牲にした形での時間の短縮を図るもの、スクリーニングプログラムにおけるものではあるが、多点同時刺激によって検査時間の時間短縮を図っているものもある⁵⁾。しかしながら、これらの改良は、測定原理からも明らかなように、検査データの精度に問題を残している。Weber⁶⁾の dynamic strategy は、閾値測定の際の閾値変化の間隔を可変とし、感度低下の著しい部位ほど間隔を広くすることによって測定時間の短縮を図ったものである。障害の程度の強い部位では元々測定精度が低いことから、導かれた発想である。こうした試みから明らかなように、時間の短縮が、検査時間の長さから来る閾値精度の低下⁷⁾を抑えて閾値精度の向上につながる閾値測定アルゴリズムが望ましいといえる。

今回、我々が使用の機会を得た Swedish Interactive Thresholding Algorithm (SITA) は、時間短縮と精度の維持を目指した視野測定アルゴリズムである⁷⁾。SITA を緑内障患者に使用する前段階として、正常有志者を対象として、従来の up and down 法による HFA 中心 30-2 プログラム測定との比較によって、その有用性を検討したので報告する。

II 方 法

1. SITA の概要

SITA の全容は公表されていないが、基本的には視野計内部のコンピュータに入力されている多数の正常者、緑内障患者の視野データを基として、各視標呈示ごとに視標が呈示されている検査点のみでなく、測定領域にあるすべての検査点の閾値を推測し、測定閾値のデータの蓄積と検証を繰り返すことで、視野の島全体の推定を試みる閾値測定アルゴリズムである。したがって、SITA で表示される視野閾値は推定値であり、このため、推定値がどの程度実際の閾値を表現できているかを視野の正確性を表す指標 (従来から用いられていた視野信頼度の指標とは異なる) として随時計算し、その値が一定の値に達した時点で、視標呈示は終了となる。したがって、各測定点では刺激回数が 2~3 回程度と従来の up and down 法と

比較して極めて少数であっても測定終了となることがある。視野の正確性を表す指標の基準値を 2 種類設定し、それぞれによる SITA 測定は SITA accurate, SITA fast と呼ばれている。前者は従来の up and down 法による閾値測定プログラム (HFA 630, ハンフリー社) と同等の結果を得るもの、後者は FASTPAC[®] と同等の結果を得るものとされる。また、視標呈示終了後に、偽反応に関して修正を行い、全視野の閾値が再計算される。SITA は、従来の HFA I に比較して、全体のサイズが小型化し、視標投影用ドームが非球面型となった HFA II (モデル 750) (表) に専用ソフトウェアをインストールして使用する。プリントアウトには信頼性の指標として、fixation losses, false positive errors, false negative errors が表示される。

2. 対象と方法

対象は、正常有志者あるいは外眼部疾患で当科外来を受診した患者である。検討対象の矯正視力の基準値を、年齢 50 歳以上では 0.7 以上、50 歳未満では 0.8 以上とし、かつ、屈折異常については、球面值で 5 diopter 未満、円柱値で 2.5 diopter 未満とした。また、除外条件として、①弱視の既往、②いずれかの眼圧が 22 mmHg 以上、③正常であることが疑わしい、あるいは病的な視神経乳頭、④検査対象眼で眼科的現症あるいは既往歴から、視野欠損が明らかにあるか、存在し得ると説明できる症例、⑤検査眼に重篤な眼疾患の既往あるいは現症があるもの、⑥瞳孔の異常あるいはピロカルピンなどの薬物の使用歴、または現在の瞳孔径や反応性に影響を与え得る疾患の既往、⑦視野に影響を及ぼし得るあらゆる全身疾患、あるいは視野に影響を及ぼし得る薬物による治療歴、⑧脳卒中、糖尿病網膜症、インスリン依存性糖尿病の既往、⑨視野検査が続行できないこと、を設定した。対象選択基準に合致する症例に対して、検査の内容、目的について十分な説明を行った後、同意の得られた屈折異常、初発白内障以外の眼疾患を認めない正常者 47 例 47 眼が今回の対象となった。対象の年齢は 53.8±17.2 歳 (平均値±標準偏差、レンジ: 17~83 歳) であった。

対象者の 1 眼に対して、HFA 中心 30-2 プログラムを

表 Humphrey field analyzer (HFA) II 規格

視標	最大輝度	10,000 asb
	提示時間	0.2 秒
	サイズ	Goldmann I~V 相当
	色	白 赤 青
固視監視システム		ビデオアイモニター ゲイストラック法 Heijl-Krakau 法
背景輝度		31.5 asb
ドーム形状		非球面型
検査距離		30cm
サイズ		575 (H) × 580 (W) × 482 (D) mm

施行した. HFA II を用いて SITA fast, SITA accurate を, HFA-630 を用いて up and down 法を 15 分の間隔をあけて連続して測定した. 3~24 日後(平均 16.2 日)に同様の測定を行った. 3 種類の視野測定アルゴリズムの順序は, 組み合わせ得る 6 パターンの順をあらかじめ決定しておき, 被検者の初回測定日の順に当てはめた. また, 症例個々では 2 回とも同じ順序とした. 得られた結果のうち, 1 回目のデータは除外し, 2 回目のデータのみを以下の解析に使用した. 中心 30・2 プログラムで測定される 76 点のうち, 上眼瞼の影響を受けやすい最上段の 1 列 4 点と, マリオット盲点に相当する上下 2 点(中心から耳側へ 9 度, 上下方向に 3 度離れた点)は解析対象から除外した. したがって, 1 眼当たり 70 点, 47 眼で合計 3,290 点について各プログラムで得られた閾値を比較検討した. また, 各種視野指標と閾値の関連について検討を行った.

III 結 果

1. 3 種類の視野測定アルゴリズムの閾値の関係

測定点 3,290 点における up and down 法の閾値と, SITA accurate の閾値の関連を示す. 両者間には有意な相関関係が認められ($r=0.693, p<0.0001$), 回帰式 $Y=10.615+0.66 X$ (X : up and down 法の閾値, Y : SITA accurate の測定閾値)が得られた. また, up and down 法の閾値と SITA fast の閾値は同様に有意の相関関係を認め($r=0.689, p<0.0001$), 回帰式 $Y=14.601+0.54 X$ (X : up and down 法の閾値, Y : SITA fast)が得られた.

SITA accurate の閾値と up and down 法の差の分布を, 測定点 3,290 点について度数表示した(図 1). 差の値は, $-5 \sim +5$ dB に 91.4% が含まれ, $-10 \sim +10$ dB に 98.7% が含まれていた. 同様に SITA fast の閾値と up and down 法の閾値の差の分布を, 測定点 3,290 点について度数表示した(図 2). 差の値は, $-5 \sim +5$ dB に 88.7% が含まれ, $-10 \sim +10$ dB に 98.8% が含まれていた.

2. 3 種類の視野測定アルゴリズムによる測定閾値の差と視野指標の関連

up and down 法による mean deviation (MD) 値と SITA accurate と up and down 法による閾値の差の間には有意の相関関係が認められ($r=-0.442, p=0.006$), 回帰式 $Y=0.932-0.331 X$ (X : HFA の MD, Y : SITA accurate と up and down 法の閾値の差)が成り立った(図 3).

up and down 法による MD 値と, SITA fast と up and down 法による閾値差の間にも有意の相関関係が認められ($r=-0.509, p=0.00092$) (図 4), 回帰式 $Y=1.417-0.419 X$ (X : HFA の MD, Y : SITA fast と up and down 法の閾値の差)が成り立った.

up and down 法による short-term fluctuation (SF) 値と SITA accurate と up and down 法による閾値差の間には, 有意の相関関係は認められなかった($r=-0.056, p=0.9278$) (図 5).

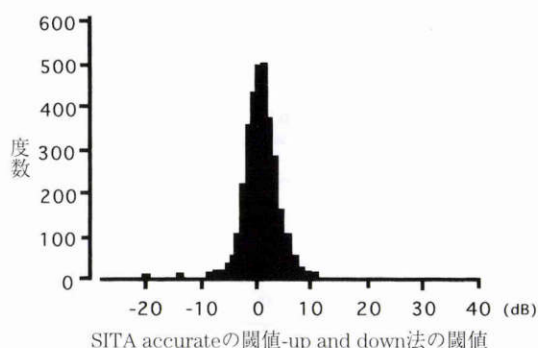


図 1 Swedish Interactive Thresholding Alhorithm (SITA) accurate と Humphrey field analyzer (HFA) の差のポイント数.

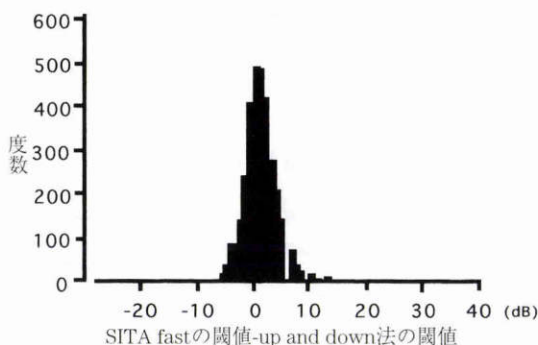


図 2 SITA fast と HFA の差のポイント数.

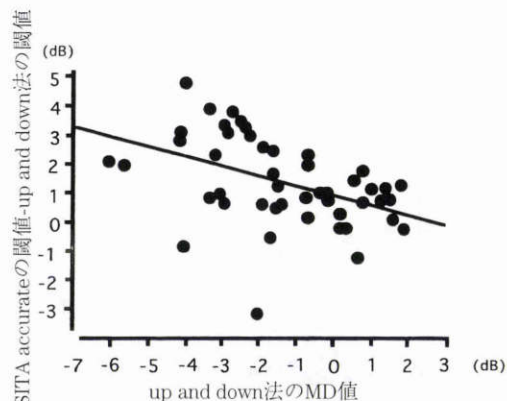


図 3 SITA accurate と HFA の差と HFA の mean deviation (MD) 値の関係.

回帰式: $Y=0.932-0.331 X$

SF 値と SITA fast と up and down 法による閾値差の間には, 有意の相関関係は認められなかった($r=-0.077, p=0.7614$) (図 6).

up and down 法による corrected pattern standard deviation (CPSD) 値と SITA accurate と up and down 法の閾値の差の間には, 相関関係は認められなかった($r=0.042, p=0.9586$) (図 7).

up and down 法による CPSD 値と SITA fast と up and down 法の閾値差の間には, 有意な相関関係が認められなかった($r=0.323, p=0.0753$) (図 8).

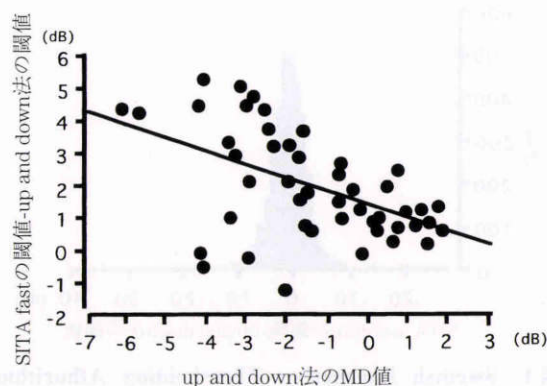


図4 SITA fastとHFAの差とHFAのMD値の関係。
回帰式: $Y = 1.417 - 0.419 X$

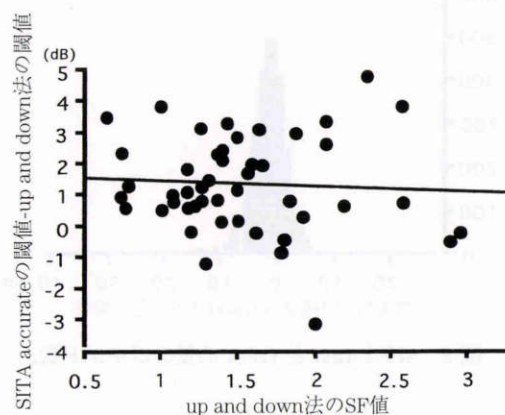


図5 HFA中心30-2プログラムのshort-term fluctuation(SF)値とSITA accurateとHFAの差。
回帰式: $Y = 1.625 - 0.155 X$

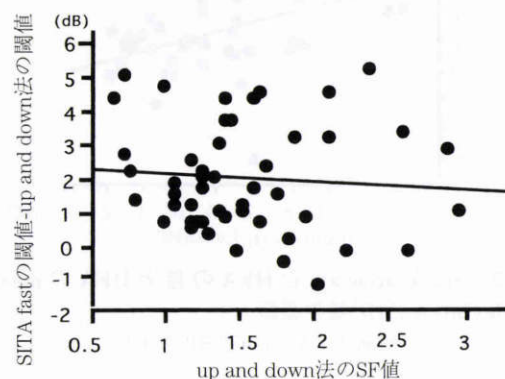


図6 HFA中心30-2プログラムのSF値とSITA fastとHFAの差の関係。
回帰式: $Y = 2.349 - 0.233 X$

3. 測定時間

各々のプログラムの測定時間は以下のとおりであった。すなわち、up and down法では 24.20 ± 1.74 分、SITA accurateでは 6.81 ± 1.20 分、SITA fastでは 3.93 ± 1.23 分であった。すなわち、SITA accurate, fastの測定時間は、それぞれup and down法の $48.2 \pm 5.7\%$ 、 26.9

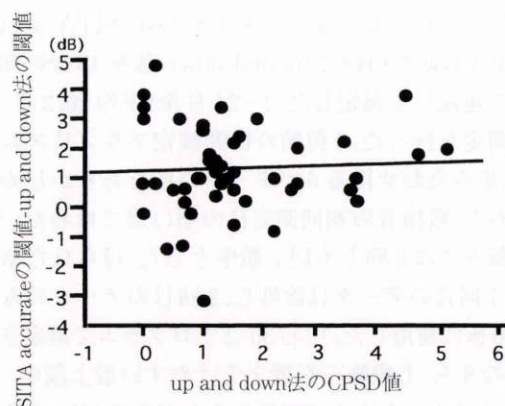


図7 HFA中心30-2プログラムのcorrected pattern standard deviation(CPSD)値とSITA accurateとHFAの差の関係。
回帰式: $Y = 1.314 - 0.049 X$

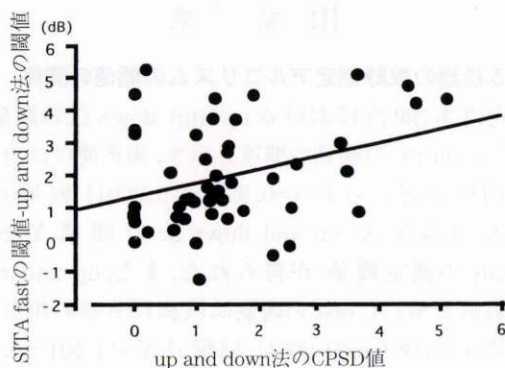


図8 HFA中心30-2プログラムのCPSD値とSITA fastとHFAの差の関係。
回帰式: $Y = 0.368 + 0.414 X$

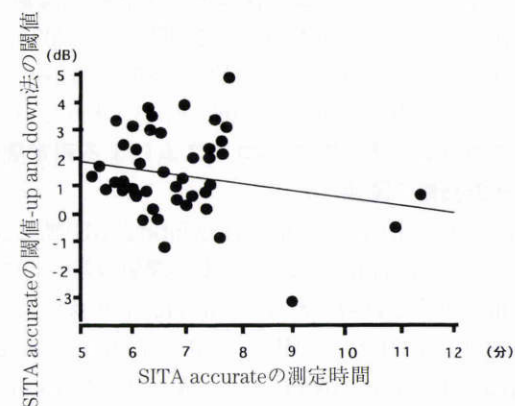


図9 SITA accurateとHFAの差と、SITA accurateの測定時間の関係。
回帰式: $Y = 3.169 - 0.261 X$

$\pm 3.1\%$ に短縮していた(各症例毎の時間比の平均値 $\pm$ 標準偏差)。

SITA accurateとup and down法の閾値の差と、SITA accurateの測定時間の関係を検討すると、有意な関係を認めなかった($r = -0.208$, $p = 0.540$) (図9)。また、

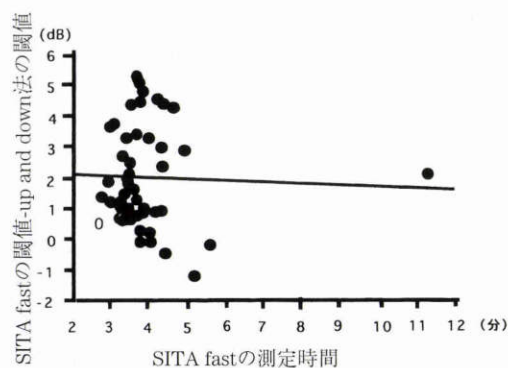


図 10 SITA fast と HFA の差と SITA fast の測定時間の関係。

$$\text{回帰式: } Y=2.161-0.042 X$$

SITA fast と up and down 法の閾値の差と SITA fast の測定時間の間にも有意な関係を認めなかった ($r=-0.031$, $p=0.977$) (図 10)。

IV 考 按

今回、我々の検討した SITA は、検査時間の大幅な短縮を閾値測定の精密性を損なわずに実現するという基本的なコンセプトに基づき、Heijl らを中心に開発中の閾値測定アルゴリズムである。正常者と緑内障患者から得られた蓄積されたデータを基に、各測定点の閾値を測定しつつ全測定点の閾値を数学的に推定するという、全く新しい手法で時間短縮を図るものである。この点において、FASTPAC[®]や Dicon 視野計のように閾値検査において閾値変化の間隔を広くして時間短縮を図るもの⁸⁾、dynamic strategy など、従来の測定時間短縮を目的としたストラテジーが閾値を直接測定する手法を踏襲した上で時間短縮を図っていることと、根本的に相違している。

今回の検討により、SITA (accurate, fast とともに) の閾値と up and down 法による閾値の間に有意な相関が認められた。測定値の分布では、SITA accurate で 91.4% の測定点で 5 dB 以内、SITA fast は 88.7% の測定点で 5 dB 以内であった。今回対象としたのが視野の検査経験のない正常者に対して施行した 2 回目の検査であったことを考えると、閾値測定機能としては、FASTPAC[®]や、48 例 48 眼の検査点、3,360 点の閾値と up and down 法による閾値の差が 66% の測定点で 5 dB 以内、84% で 10 dB 以内であった Dicon 視野計⁹⁾と同等以上であると推定された。

各種視野指標との検討では、SITA の閾値と up and down 法による閾値の差が up and down 法の MD 値と、SITA accurate, SITA fast とともに有意な負の相関を示したことから、緑内障を対とした検査、特に、進行した緑内障で、両者の乖離が著しくなる可能性があり得る。CPSD 値と SITA の閾値の差が有意な相関関係を認めなかったことは、局所の著しい変化は up and down 法の閾

値との差の大きさには影響を与えないと考えられる。

視野研究における一つの課題は、検査時間の短縮である。従来は主として患者の苦痛の軽減、あるいは年少者や高齢者など長時間の検査に耐えられない特殊な症例に適用することが主な目的であった。そのため、共通する手法としては、FASTPAC[®]や Dicon 視野計のように閾値検査において、全体のアップダウンの間隔を広くとって時間短縮を図るもの⁸⁾、dynamic strategy のように感度の低い部分のアップダウンの間隔を広くとって時間短縮を図るものがある⁹⁾。Flanagan ら³⁾は 30 例の緑内障患者についての FASTPAC[®]の使用結果について報告し、up and down 法との比較で、検査時間が平均 36% 短縮されたものの、MD 値は低く、SF 値は高くなったと述べている。Scaumberger ら¹⁰⁾も同様の検査を 50 例の緑内障患者に対して行い、同様の結果を得ている。上記二者は、FASTPAC[®]の用途については、長時間の検査に耐えられない症例などと限定的に捕え、正確な閾値が必要な症例については用いられないとしている。稲積ら¹¹⁾は各病期の緑内障患者に対し Dicon 視野計の閾値測定プログラムについて報告し、その測定閾値については、up and down 法の閾値との間で強い正の相関を示し ($r=0.76$)、特に初期症例において有用であったとしている⁹⁾。Weber¹²⁾は dynamic strategy について報告し、検査時間については通常のプログラムに対して 46% に減少した。また、感度のばらつきは正常者ではむしろ低く、中等度の障害の症例では dynamic strategy が大きかったと述べている。

現時点で、SITA による測定アルゴリズムの限界を述べるのは困難であるが、今回の検討から推測できることを述べると、第一に、従来の up and down 法による閾値と必ずしも一致しないことが挙げられる。特に、MD 値の絶対値の大きな症例で乖離が大きかったことは、SITA において初期暗点の検出能力が up and down 法により劣る可能性が考えられ、注意を要する。このことは、up and down 法から SITA に切り替えるときに、各症例ごとに再度基準視野を設定する必要があることを示唆している。また、SITA は正常人と緑内障患者の視野を基に閾値を測定するアルゴリズムであるため、他の疾患による視野異常を検出する能力に関して保証はない。したがって、高齢者に多い白内障をはじめとした他疾患の合併する緑内障眼については結果の解釈に細心の注意が必要である。こうした限界はあるものの、その著明な測定時間短縮効果は、従来の視野測定ストラテジーの適応しにくい症例をはじめとして、多くの緑内障患者の福音となる可能性は高いものと推定される。

SITA の今後の検討課題としては、緑内障眼での検査結果が関心と呼ぶところである。上記検討では視野障害の進行に従って、up and down 法の閾値との乖離が増大する可能性が考えられる。内蔵された膨大な緑内障眼のデータによって、予想される閾値の乖離を補正し得るか

どうか課題と考えられる。

文 献

- 1) 山本哲也, 白土城照: ハンフリー視野計. 大島利文 (編): 眼科MOOK 36 視野. 金原出版, 東京, 95—106, 1988.
- 2) Searle AET, Wild JM, Shaw DE, O'Neil EC: Time-related variation in normal automated static perimetry. *Ophthalmology* 98: 701—707, 1991.
- 3) Flanagan JG, Wild JM, Trope GE: Evaluation of FASTPAC, a new strategy for threshold estimation with the Humphrey Field Analyzer, in a glaucomatous population. *Ophthalmology* 100: 949—954, 1993.
- 4) Schaumberger M, Schafer B, Lachenmayr BJ: Glaucomatous visual fields. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 36: 1390—1397, 1995.
- 5) 稲積幸介, 山本哲也, 北澤克明: Dicon TKS 4000 視野計の使用経験. *あたらしい眼科* 12: 1167—1170, 1995.
- 6) Weber J: Test time and efficiency of the dynamic strategy in glaucoma perimetry. *Ger J Ophthalmol* 4: 25—31, 1995.
- 7) Heiji A: Improved test algorithms for automated perimetry. *Glaucoma Update* 39: 1—39—7, 1994.
- 8) 稲積幸介, 山本哲也, 北澤克明: Dicon LD 400 視野計, 閾値測定プログラムの使用経験. *あたらしい眼科* 13: 1433—1436, 1996.